



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 54 247 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 41/09**  
H 02 N 2/00

②① Aktenzeichen: 100 54 247.6  
②② Anmeldetag: 2. 11. 2000  
④③ Offenlegungstag: 23. 5. 2002

DE 100 54 247 A 1

⑦① Anmelder:  
Danfoss A/S, Nordborg, DK

⑦④ Vertreter:  
U. Knoblauch und Kollegen, 60322 Frankfurt

⑦② Erfinder:  
Benslimane, Mohamed Yahia, DK-6430 Nordborg,  
DK; Gravensen, Peter, DK-6430 Nordborg, DK

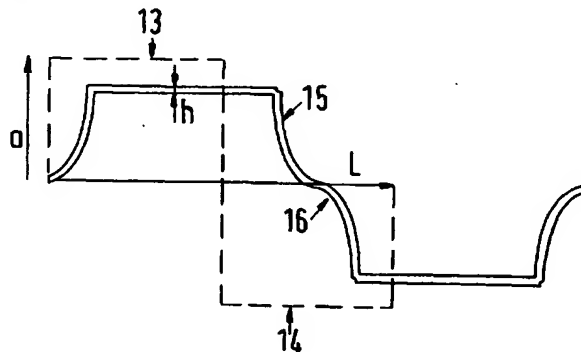
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
US 59 77 685  
JP 01-2 73 372 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Betätigungselement und Verfahren zu seiner Herstellung

⑤⑦ Es wird ein Betätigungselement angegeben mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer Elektrode versehen ist.  
Hierbei möchte man die Dynamik verbessern können. Hierzu weist mindestens eine Begrenzungsfläche mindestens einen gewellten Bereich mit parallel zur Querrichtung verlaufenden Höhen (13) und Tiefen (14) als Extreme auf, der von einer Elektrode bedeckt ist, die zumindest einen Teil der Extreme (13, 14) vollflächig abdeckt und im übrigen über den gewellten Bereich zusammenhängt.



DE 100 54 247 A 1

## Beschreibung

- [0001] Die Erfindung betrifft ein Betätigungselement mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei ein-  
 5 ander gegenüberliegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer Elektrode versehen ist. Ferner betrifft die Erfindung ein  
 Verfahren zum Herstellen eines Betätigungselements mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei ein-  
 ander gegenüberliegenden Seiten mit Elektroden versehen wird.
- [0002] Ein derartiges Betätigungselement ist aus US 5 977 685 bekannt.
- [0003] Derartige Betätigungselemente werden auch kurz als "künstliche Muskeln" bezeichnet, weil ihr Verhalten unter  
 gewissen Bedingungen dem von menschlichen Muskeln entspricht.
- 10 [0004] Die Funktionsweise ist relativ einfach. Wenn eine Spannungsdifferenz an die beiden Elektrode angelegt wird,  
 entsteht ein elektrisches Feld durch den Körper hindurch, wobei das elektrische Feld mechanische Anziehungskräfte  
 zwischen den Elektroden erzeugt. Dies führt zu einer Annäherung der beiden Elektrodenanordnungen und damit verbun-  
 den zu einer Kompression des Körpers. Die Annäherung kann noch unterstützt werden, wenn das Material des Körpers  
 dielektrische Eigenschaften hat. Da das Material aber ein im wesentlichen konstantes Volumen hat, führt das Zusammen-  
 15 drücken, also das Vermindern der Dicke, zu einer Vergrößerung der Abmessungen des Körpers in den anderen beiden  
 Richtungen, d. h. parallel zu den Elektroden.
- [0005] Wenn man nun die Dehnbarkeit des Körpers auf eine Richtung beschränkt, dann wird die Dickenänderung voll-  
 ständig in eine Längenänderung in die andere Richtung umgesetzt. Für die nachfolgende Erläuterung wird die Richtung,  
 in der die Längenveränderung erfolgen soll, als "Längsrichtung" bezeichnet. Die Richtung, in der eine Längenänderung  
 20 nicht erfolgen soll, wird als "Querrichtung" bezeichnet. Im bekannten Fall weist die Elektrode eine leitende Schicht mit  
 einer relativ niedrigen Leitfähigkeit auf, auf die in Querrichtung verlaufende Streifen aus einem nicht nachgiebigen Ma-  
 terial aufgetragen sind, wobei die Streifen in Längsrichtung einen Abstand zueinander aufweisen. Die leitfähige Schicht  
 soll für eine möglichst gleichförmige Verteilung des elektrischen Feldes sorgen, während die Streifen, vorzugsweise aus  
 einem Metall, die Ausbreitung des Körpers in Querrichtung verhindern sollen. Allerdings ergibt sich hierbei aufgrund  
 25 der schlechten Leitfähigkeit der elektrisch leitenden Schicht eine gewisse Begrenzung bei der Dynamik.
- [0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die mechanische Dehnbarkeit eines Betätigungselements zu verbes-  
 sern.
- [0007] Diese Aufgabe wird bei einem Betätigungselement der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß mindestens  
 eine Begrenzungsfläche mindestens einen gewellten Bereich mit parallel zur Querrichtung verlaufenden Höhen und Tie-  
 30 fen als Extreme aufweist, der von einer Elektrode bedeckt ist, die zumindest einen Teil der Extreme vollflächig abdeckt  
 und im übrigen über den gewellten Bereich zusammenhängt.
- [0008] Mit dieser Ausgestaltung erreicht man mehrere Vorteile: Da die Elektrode in Querrichtung durchgehend ausge-  
 bildet ist, begrenzt sie die Dehnbarkeit des Körpers in diese Querrichtung. "Durchgehend" soll hierbei bedeuten, daß die  
 Elektrode eine Form hat, die nicht noch gestreckt werden kann, beispielsweise eine gerade Linie. Die gesamte Verfor-  
 35 mung, die sich bei einer Verringerung der Dicke des Körpers ergibt, wird in eine Änderung der Ausdehnung in Längs-  
 richtung umgesetzt. Natürlich wird sich in der Praxis aufgrund von realen Materialien auch eine kleine Änderung in  
 Querrichtung ergeben. Diese ist jedoch verglichen mit der Änderung der Ausdehnung in Längsrichtung vernachlässigbar.  
 Da sich die Elektrode zusammenhängend über den gesamten gewellten Bereich erstreckt, wird sichergestellt, daß die  
 elektrische Leitfähigkeit der Elektrode groß genug ist, so daß der Aufbau des elektrischen Feldes, das zur Verringerung  
 40 der Dicke des Körpers erforderlich ist, schnell erfolgen kann. Man kann daher mit dem Betätigungselement durchaus  
 hohe Frequenzen realisieren. Da die Oberfläche des Körpers zumindest in einem vorgegebenen Bereich gewellt ist und  
 die Wellung parallel zur Querrichtung verläuft, steht in Längsrichtung eine Oberfläche zur Verfügung, die zumindest im  
 Ruhezustand des Betätigungselements wesentlich größer als die Längserstreckung des Betätigungselements ist. Wenn  
 man daher die Längserstreckung des Betätigungselements vergrößert, dann wird lediglich die Wellung abgeflacht, d. h.  
 45 der Unterschied zwischen den Extremen, mit anderen Worten den Spitzen der Höhen und den Tälern der Tiefen, werden  
 kleiner. Einer Elektrode, die auf diese Oberfläche aufgebracht ist, kann dementsprechend einer Streckung problemlos  
 folgen, ohne daß die Gefahr besteht, daß die Elektrode von der Oberfläche abgelöst wird. Durch die gewellte Oberfläche  
 erzielt man also eine hervorragende Steifigkeit in der Querrichtung, eine gute Nachgiebigkeit in der Längsrichtung und  
 eine einfach zu realisierende Möglichkeit, die elektrische Spannungsversorgung zum Aufbau des elektrischen Feldes  
 50 gleichmäßig über die gesamte Oberfläche des Körpers verteilen zu lassen. Der Ausdruck "gewellt" muß nicht heißen, daß  
 es sich hier um bogenförmige oder sinusförmige Konturen handelt. Im Grunde genommen ist hierbei jede Struktur denk-  
 bar und zulässig, bei der sich "Berge" mit "Tälern" abwechseln, wobei sich die Berge und die Täler in Querrichtung er-  
 strecken, d. h. in eine Richtung, die unter einem rechten Winkel zur Ausdehnungsrichtung verläuft. Im Querschnitt kann  
 es sich also um eine Sinuswelle, eine Dreieckswelle, eine Sägezahnwelle, eine Trapezwelle oder eine Rechteckwelle  
 55 handeln. Die Dehnbarkeit wird verbessert, ohne die Dynamik des Betätigungselements zu beeinträchtigen.
- [0009] Vorzugsweise deckt die Elektrode den gewellten Bereich vollflächig ab. Man verwendet also eine Flächenelek-  
 trode, so daß sich die elektrischen Ladungen an jeden Punkt der Begrenzungsfläche des Körpers begeben können, so daß  
 der Aufbau des elektrischen Feldes gleichmäßig wird. Gleichzeitig läßt sich die Steifigkeit in Querrichtung weiter  
 verbessern, weil nicht nur die Extreme, also die Kuppen der Berge und die Sohlen der Täler, mit der durchgehenden  
 60 Elektrode abgedeckt sind, sondern auch die Flanken zwischen den Bergen und Tälern. An der Beweglichkeit in Längs-  
 richtung ändert sich allerdings nichts. Wenn sich der Körper in Längsrichtung ausdehnt, dann werden die Konturen fla-  
 cher, ohne daß sich zwischen der Zuordnung der Elektrode und dem Körper etwas ändern muß.
- [0010] Hierbei ist besonders bevorzugt, daß die Elektrode unmittelbar mit dem Körper verbunden ist. Eine zusätzliche  
 leitfähige Schicht ist ohnehin nicht erforderlich, weil die Elektrode die elektrische Leitung für die gesamte Begrenzungs-  
 65 fläche übernimmt. Wenn die Elektrode unmittelbar mit dem Körper verbunden ist, ist die Einflußnahme der Elektrode auf  
 den Körper besser, was sich insbesondere in einer verbesserten Steifigkeit oder Nicht-Dehnbarkeit in Querrichtung äu-  
 ßert.
- [0011] Vorzugsweise weisen die Extreme Amplituden auf, die nicht größer sind als 20% der Dicke des Körpers zwi-

schen den Begrenzungsflächen. Mit dieser Bemessungsangabe erreicht man eine gleichförmige Verteilung des elektrischen Feldes über die Länge des Betätigungselements, d. h. die Kräfte wirken gleichmäßig auf den Körper, ohne daß sie sich in besonders ausgeprägten Streifen konzentrieren. Unter Amplitude wird hierbei die Hälfte des Unterschieds zwischen benachbarten Extremen verstanden, d. h. die Hälfte des Abstandes zwischen einer Höhe und einer Tiefe.

[0012] Vorzugsweise weist die Elektrode eine Stärke auf, die maximal 10% der Amplitude beträgt. Der Dehnbarkeitsfaktor (Compliance factor)  $Q$  eines Betätigungselements ist direkt proportional zum Verhältnis zwischen Amplitude und Stärke der Elektrode. Je größer dieses Verhältnis ist, desto größer ist der Dehnbarkeitsfaktor.

[0013] Vorzugsweise liegt das Verhältnis zwischen Amplitude und Periodenlänge im Bereich von 0,08 bis 0,25. Das Verhältnis zwischen Amplitude und Periodenlänge hat eine Auswirkung auf die Länge der Oberfläche einer Periode. Je größer die Länge der Oberfläche ist, desto größer ist im Grunde die Dehnbarkeit. Theoretisch könnte man den Körper dehnen, bis die Oberfläche glatt ist, ohne daß die Elektrode dieser Oberfläche darunter leitet. In der Praxis wird die Dehnbarkeit natürlich noch durch andere Parameter begrenzt.

[0014] Vorzugsweise weist der gewellte Bereich ein Rechteckprofil auf. Man hat beobachtet, daß sich ein Rechteckprofil am besten in Längsrichtung dehnen läßt. Man führt dies darauf zurück, daß die Elektrode der Oberfläche eine gewisse Steifigkeit auch in Längsrichtung verleiht. Beispielsweise kann man sich bei einem Rechteck vorstellen, daß die parallel zur Längserstreckung liegenden Teile des Rechteckprofils auf den Höhen und in den Tiefen selbst nicht gedehnt werden können. Die Dehnung des Körpers findet also praktisch ausschließlich über die Vergrößerung der Neigung der Flanken und die damit verbundene Verringerung der Amplitude statt.

[0015] Vorzugsweise weist das Rechteckprofil Zähne und Zahnücken auf, die in Längsrichtung gleich lang sind. Dies ermöglicht, daß sich das elektrische Feld möglichst gleichmäßig ausbildet. Gleichzeitig erleichtert diese Gestaltung die Fertigung.

[0016] Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß ein Elastomer in einer Form mit einem gewellten Oberflächenprofil zu einem Film gepreßt wird, den man so kurz aushärten läßt, daß er noch formbar bleibt, dann eine weitere Form mit einer gewellten Oberfläche gegen die andere Seite des Filmes preßt und nach Ausbilden der Oberflächenformen eine leitende Schicht auf die Oberfläche aufträgt.

[0017] Eine derartige Herstellung ist relativ einfach. Eine Elektrodenbearbeitung kann im Grunde entfallen. Es ist lediglich erforderlich, die gewünschte Oberflächenstruktur zu erzeugen. Eine derartige Oberflächenstruktur wird durch das Formpressen erzeugt. Hierzu ist es lediglich erforderlich, Formen mit entsprechenden Strukturen bereit zu stellen. Derartige Formen lassen sich durch bekannte photolithographische Prozesse erzielen, wie sie beispielsweise von der Herstellung von Kompaktdiscs (CD's) bekannt ist.

[0018] Hierbei ist besonders bevorzugt, daß die leitende Schicht aufgedampft wird. Eine aufgedampfte Schicht läßt sich mit der gewünschten kleinen Dicke realisieren. Man kann darüber hinaus sicher stellen, daß der Dampf auch in enge Täler eindringen und dort eine Elektrode bilden kann.

[0019] Die Erfindung wird im folgenden anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung näher beschrieben. Hierin zeigen:

[0020] Fig. 1 eine schematische Ansicht mit verschiedenen Verfahrensschritten zum Herstellen eines Betätigungselements,

[0021] Fig. 2 eine Schnittansicht durch eine Periode,

[0022] Fig. 3 eine Kurve zur Verdeutlichung von Verhältnissen bei einem Sinusprofil und

[0023] Fig. 4 die gleiche Kurve zur Verdeutlichung von Verhältnissen bei einem Rechteckprofil.

[0024] Fig. 1 zeigt verschiedene Schritte zum Herstellen eines Betätigungselements 1 mit einem Körper 2, der zwei Begrenzungsflächen 3, 4 aufweist, die einander gegenüberliegen. Auf beiden Begrenzungsflächen 3, 4 ist jeweils eine Elektrode 5, 6 angebracht. Die Elektrode 5, 6 ist unmittelbar mit dem Körper 2 verbunden. Der Körper ist aus einem Elastomermaterial, beispielsweise einem Silikonelastomer, gebildet und hat vorzugsweise dielektrische Eigenschaften. Das Material des Körpers 2 ist zwar verformbar. Es weist aber eine Volumenkonstanz auf, d. h. wenn man es in Richtung der Dicke  $d$  des Körpers 2 zusammendrückt, dann erfolgt eine Vergrößerung der Ausdehnung des Körpers 2 in die beiden anderen Richtungen. Wenn man nun die Ausdehnung des Körpers 2 in eine Richtung begrenzt, dann führt eine Verminderung der Dicke  $d$  ausschließlich zu einer Vergrößerung der Ausdehnung des Körpers 2 in die andere Richtung. Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 soll die Ausdehnungsmöglichkeit senkrecht zur Zeichenebene (Querrichtung) beschränkt sein oder sogar ganz unterbunden werden können. In der Richtung von links nach rechts (bezogen auf Fig. 1), d. h. der Längsrichtung soll hingegen eine Ausdehnung möglich sein. Dieses anisotrope Verhalten wird dadurch erreicht, daß die beiden Begrenzungsflächen 3, 4 des Körpers 2 eine gewellte Struktur aufweisen. In Fig. 1 ist diese gewellte Struktur als Rechteckprofil dargestellt. Es ist aber auch möglich, daß die gewellte Struktur durch ein Sinusprofil, ein Dreiecksprofil, ein Sägezahnprofil oder ein Trapezprofil gebildet wird.

[0025] Es liegt ohne weiteres auf der Hand, daß eine undeformbare Elektrode 5, 6, die unmittelbar und damit fest mit dem Körper 2 verbunden ist, eine Ausdehnung des Körpers 2 senkrecht zur Zeichenebene verhindert, wenn der Körper 2 in Richtung seiner Dicke  $d$  zusammengedrückt wird. Eine Ausdehnung senkrecht zur Zeichenebene würde voraussetzen, daß auch die Elektroden 5, 6 in diese Richtung dehnbar sind, was definitionsgemäß nicht der Fall ist. Das Zusammendrücken des Körpers erfolgt dadurch, daß die Elektroden 5, 6 mit einer Spannungsdifferenz beaufschlagt werden, so daß sich ein elektrisches Feld zwischen den beiden Elektroden 5, 6 ausbildet, das wiederum Kräfte ausübt, die dazu führen, daß die beiden Elektroden 5, 6 aneinander angezogen werden. Mit eine Voraussetzung hierbei ist, daß der Körper 2 nicht zu dick ist. Vorzugsweise bewegt sich die Dicke  $d$  des Körpers 2 im Bereich von wenigen bis einigen  $10\ \mu\text{m}$ .

[0026] Die untenstehende Tabelle zeigt typische Werte für Elektroden-schichten und Elastomere sowie typische Werte der Aktivierungsspannung eines Betätigungselements.

5	Elastomer Dielektrische Konstante	Elastomer- Dicke	Elastomer- Elastizitäts- Modul	Elektroden- Dicke	Elektrode Elastizitäts- Modul	Elektroden- Fläche	Elektroden- Widerstand	Aktivierungs- spannung
	[-]	[µm]	[MPa]	[Å]	[GPa]	[cm <sup>2</sup> ]	[KΩm]	[V]
10	2 - 6	10 - 100	0,3 - 10	100 - 5000	.1 - 80	1 - 10000	0,05 - 1000	100 - 5000

[0027] Im folgenden betrachten wir einen 20 µm dicken Silikon-Elastomerfilm mit einem Elastizitätsmodul von 0,7 MPa und einer Dielektrizitäts-Konstante von 3. Die Elektroden sind aus Gold und haben eine Dicke von 0,05 µm sowie einen Elastizitätsmodul von 80000 MPa. Die Kapazität eines solchen Betätigungselements beträgt 0,1 nF/cm<sup>2</sup>, und die Sprungantwort liegt in der Größenordnung von Mikrosekunden für das nichtbelastete Betätigungselement. Wenn man einen Dehnbarkeitsfaktor der Elektrode von 4000 annimmt, sind 1000 V nötig, um eine Verlängerung in der Größenordnung von 10% zu erzeugen, wogegen eine Verlängerung von weniger als 0,05% im Falle einer undeformbaren Elektrode erzeugt wird, d. h. einer Elektrode mit einem Dehnbarkeitsfaktor von 1. Mit anderen Worten macht es die Erfindung möglich, die Aktivierungsspannung zu senken.

[0028] Das Herstellen eines derartigen Körpers 2 ist relativ einfach. Eine Form 7 mit einer entsprechenden negativen gewellten Struktur, hier eine Rechteckstruktur, wird mit einer Elastomerlösung beschichtet, um einen dünnen Film von typischer Weise 20 bis 30 µm Dicke zu bilden. Der Film 9 wird dann für eine kurze Zeit gehärtet, so daß er eine relativ weiche Schicht bildet, die immer noch geformt werden kann. Daraufhin wird eine zweite Form 10 mit einer entsprechenden Oberflächenstruktur 11 auf die andere Seite des elastomeren Films 9 gepreßt, wobei beide Pressvorgänge unter Vakuum erfolgen, um das Einschließen von Luft an den Berührungsflächen zwischen Form und Film zu verhindern. Die gesamte Sandwichanordnung aus Film 9 und Formen 7, 10 wird dann komplett ausgehärtet. Wenn die Formen 7, 10 mechanisch entfernt werden, hat der Film 9 die dargestellten gewellten Begrenzungsflächen 3, 4. Abschließend kann praktisch jede leitfähige Schicht auf die gewellten Begrenzungsflächen 3, 4 aufgetragen werden. Beispielsweise kann eine Metallschicht aus Gold, Silber oder Kupfer aufgedampft werden.

[0029] Die Auswirkung der gewellten Oberflächenstruktur ergibt sich aus der schematischen Darstellung der Fig. 2. Mit gestrichelten Linien dargestellt ist ein Rechteckprofil in der Ruhestellung, d. h. ohne Anlegen einer elektrischen Spannung an die Elektroden 5, 6. Das Rechteckprofil weist eine Amplitude a und eine Periodenlänge L auf. Die Stärke der leitfähigen Schicht 5 beträgt h. Als Amplitude wird hierbei die Hälfte des Unterschieds zwischen einer Höhe 13 und einer Tiefe 14 angesehen, die man auch als "Berg" und "Tal" bezeichnen kann. Zusammengefaßt werden beide Begriffe als "Extreme" bezeichnet. Wie aus Fig. 1 und 2 zu erkennen ist, haben die Höhe 13 und die Tiefe 14 in Längsrichtung 12 die gleiche Ausdehnung. Die Längsrichtung 12 verläuft in der Fig. 2 von links nach rechts.

[0030] Mit durchgezogenen Linien dargestellt ist die Form des Rechteckprofils, wenn sich der Körper in Längsrichtung 12 vergrößert hat. Da das Material des Körpers 2 ein konstantes Volumen besitzt, bedeutet eine Ausdehnung in Längsrichtung 12 gleichzeitig, daß sich das Profil in Dickenrichtung abflacht, wobei die Dickenverminderung zur Verdeutlichkeit übertrieben groß dargestellt ist. Dieses Profil ist nun mit durchgezogenen Linien dargestellt.

[0031] Es ist zu erkennen, daß sich das Profil im Bereich der Höhe 13 und der Tiefe 14 praktisch nicht verlängert hat. Eine Verlängerung des Körpers 2 ist daher nur an den Flanken 15, 16 möglich und zwar ohne, daß sich die Elektroden, die dort befestigt sind, irgendwie dehnen müssen.

[0032] Man kann nun verschiedene Relationen festlegen, die besonders vorteilhafte Eigenschaften aufweisen.

[0033] So bestimmt das Verhältnis zwischen der Amplitude a des Profils und der Dicke h der leitenden Beschichtung, die die Elektrode 5, 6 bildet, die Dehnbarkeit der gewellten Elektrode und damit die Ausdehnbarkeit des Körpers 2. Für gewellte Profile ist ein Dehnbarkeitsfaktor Q direkt proportional zu dem Quadrat dieses Verhältnisses. Durch die Optimierung dieses Verhältnisses ist es theoretisch möglich, die Dehnbarkeit um einen Faktor 10.000 und darüber hinaus zu steigern. Wenn man beispielsweise eine Beschichtungsdicke von 0,02 µm und eine Amplitude von 2 µm hat, ist das Verhältnis 100 und der Dehnbarkeitsfaktor ist 10.000.

[0034] Für ein Rechteckprofil, wie es in Fig. 2 dargestellt ist, läßt sich der Dehnbarkeitsfaktor Q leicht aus der Biegestabtheorie berechnen.

$$Q = 16 \frac{a}{L} \left( \frac{a}{h} \right)^2 = 16 v \left( \frac{a}{h} \right)^2, \text{ worin } v = \frac{a}{L} \text{ ist.}$$

[0035] Für sinus- oder dreieckförmige Profile gilt im Grunde das gleiche, wobei der konstante Faktor (16 für das Rechteckprofil) für die Sinus- oder Dreieckprofile kleiner ist. Weiterhin muß man das Verhältnis zwischen der Gesamtlänge s einer Periode des Profils und der Länge L der Periode selbst in Betracht ziehen. Die Länge s ergibt sich, wenn man das Profil "gerade zieht". Im Fall eines Rechteckprofils ergibt sich die Länge s = L + 4a. Wenn das Verhältnis s/L dicht an 1 ist, dann wird sich das Betätigungselement nicht sehr stark bewegen, selbst wenn die Elektrode sehr nachgiebig ist.

[0036] In den Fig. 3 und 4 sind nach rechts das Verhältnis zwischen der Amplitude a und der Periodenlänge L und nach oben das Verhältnis 100% × (s - L)/L aufgetragen und zwar in Fig. 3 für ein Sinusprofil und in Fig. 4 für ein Rechteckprofil. In der Praxis benötigt man eine maximale Verlängerung von 20% bis 50%, damit sich ein "künstlicher Muskel" um 10% bis 25% bewegt. Das bedeutet, daß sich das Verhältnis v = a/L im Bereich von 0,1 bis 0,2 bewegen sollte, wenn

man ein Rechteckprofil verwendet.

[0037] Theoretisch könnte man mit einem Sinusprofil eine Verlängerung von ca. 32% und mit einem Rechteckprofil von ungefähr 80% erreichen. In der Praxis wird dies allerdings nicht der Fall sein, weil beispielsweise das Rechteckprofil aus vertikalen und horizontalen Abschnitten besteht, wobei lediglich erstere zur Nachgiebigkeit oder Dehnbarkeit beitragen. Die horizontalen Abschnitte der Elektrode selbst werden nicht gedehnt.

[0038] In einem praktischen Ausführungsbeispiel stellt man eine Form 7 mit Hilfe von Photolithographie her, indem man einen positiven Photoresist belichtet und entwickelt. In diesem Fall ist die zum Belichten verwendete Maske relativ einfach. Sie besteht aus parallelen Rechtecken mit einer Breite von 5 µm und einer Länge, die durch die Größe des Substrats bestimmt ist. Die Rechtecke sind gleichförmig um 5 µm beabstandet und werden in Ausdehnungsrichtung vervielfacht. Die Höhe des Profils, d. h. die Amplitude, wird definiert als die Hälfte der Dicke der Photoresistschicht, die auf dem Substrat niedergeschlagen wird. Auch diese Höhe kann zu ungefähr 5 µm gewählt werden.

[0039] Für ein gleichförmiges elektrisches Feld ist es allerdings vorteilhaft, wenn die Amplitude mindestens 10 mal kleiner ist, als die Dicke d des Körpers 2. Für einen Elastomerfilm mit einer Dicke von 20 µm wählt man zweckmäßigerweise eine Amplitudenhöhe von maximal 2 µm.

#### Patentansprüche

1. Betätigungselement mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer Elektrodenanordnung versehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens eine Begrenzungsfläche (3, 4) einen gewellten Bereich mit parallel zur Querrichtung verlaufenden Höhen (13) und Tiefen (14) als Extreme aufweist, der von einer Elektrode (5, 6) bedeckt ist, die zumindest einen Teil der Extreme (13, 14) vollflächig abdeckt und im übrigen über den gewellten Bereich zusammenhängt.
2. Betätigungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (5, 6) den gewellten Bereich vollflächig abdeckt.
3. Betätigungselement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (5, 6) unmittelbar mit dem Körper (2) verbunden ist.
4. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Extreme (13, 14) Amplituden (a) aufweisen, die nicht größer sind als 20% der Dicke (d) des Körpers (2) zwischen den Begrenzungsflächen (3, 4).
5. Betätigungselement nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (5, 6) eine Stärke (h) aufweist, die maximal 10% der Amplitude (a) beträgt.
6. Betätigungselement nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis zwischen Amplitude (a) und Periodenlänge (L) im Bereich von 0,08 bis 0,25 liegt.
7. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der gewellte Bereich ein Rechteckprofil aufweist.
8. Betätigungselement nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Rechteckprofil Zähne und Zahnücken aufweist, die in Längsrichtung (12) gleich lang sind.
9. Verfahren zum Herstellen eines Betätigungselement mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten mit Elektroden versehen wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Elastomer in einer Form (7) mit einem gewellten Oberflächenprofil (8) zu einem Film (9) gepreßt wird, den man so kurz aushärten läßt, daß er noch formbar bleibt, dann eine weitere Form (10) mit der gewellten Oberfläche (11) gegen die andere Seite des Films (9) preßt und nach Ausbilden der Oberflächenstruktur eine leitende Schicht auf die Oberfläche aufträgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die leitende Schicht aufgedampft wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

Fig.1

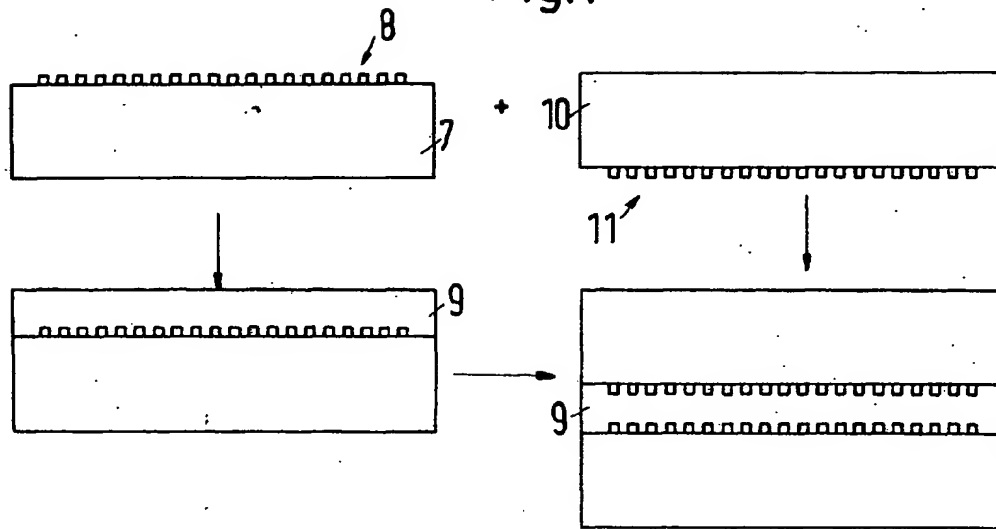


Fig.2

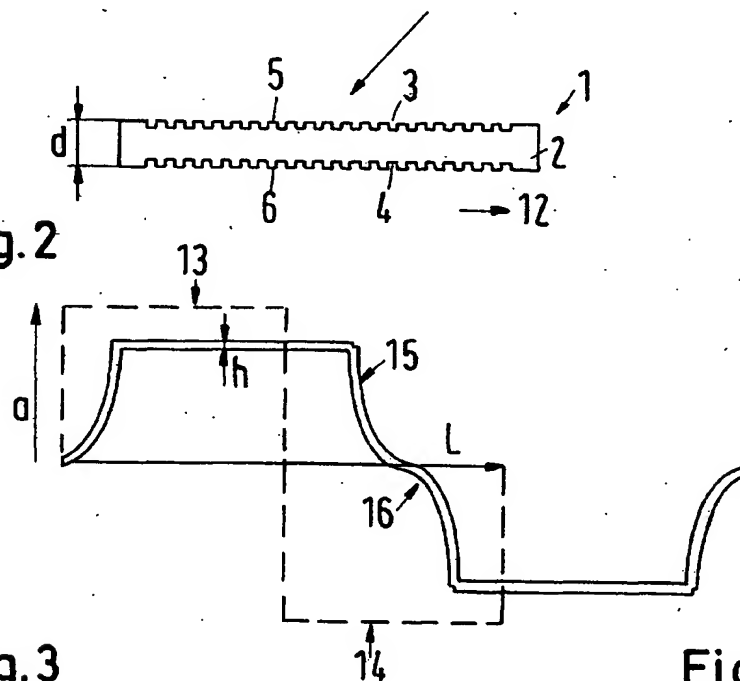


Fig.3

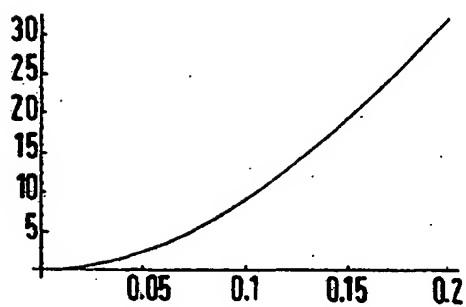


Fig.4

